PRÁCTICA 4: Ensayo triaxial CD

1. OBJETO DE LA PRACTICA

La práctica consiste en la realización de un ensayo triaxial con consolidación previa y rotura drenada sobre una probeta de arena arcillosa. El ensayo de efectuará en el laboratorio. Los diferentes grupos deberán presentar un análisis de los resultados obtenidos; lo cual se realizará a partir de los archivos de datos generados durante el ensayo.

2. EQUIPO

Se dispone de un equipo triaxial GDS fabricado por la empresa GDS Instruments Ltd. El diseño del equipo está inspirado en el clásico triaxial tipo "stress path" de Bishop y Wesley, con las siguientes características:

- La deformación y fuerza axial se imponen mediante un pistón controlado por un motor "paso a paso".

- La medida de la deformación axial se realiza mediante el conteo de pasos (impulsos) sucesivos del motor aplicados al desplazamiento del pistón. La resolución de la medida almacenada en el archivo de resultados es de 1μm.

- La medida de la fuerza axial se hace mediante una célula de carga de 2KN de capacidad y 0.002 KN de precisión, sumergible y situada en el interior de la cámara.

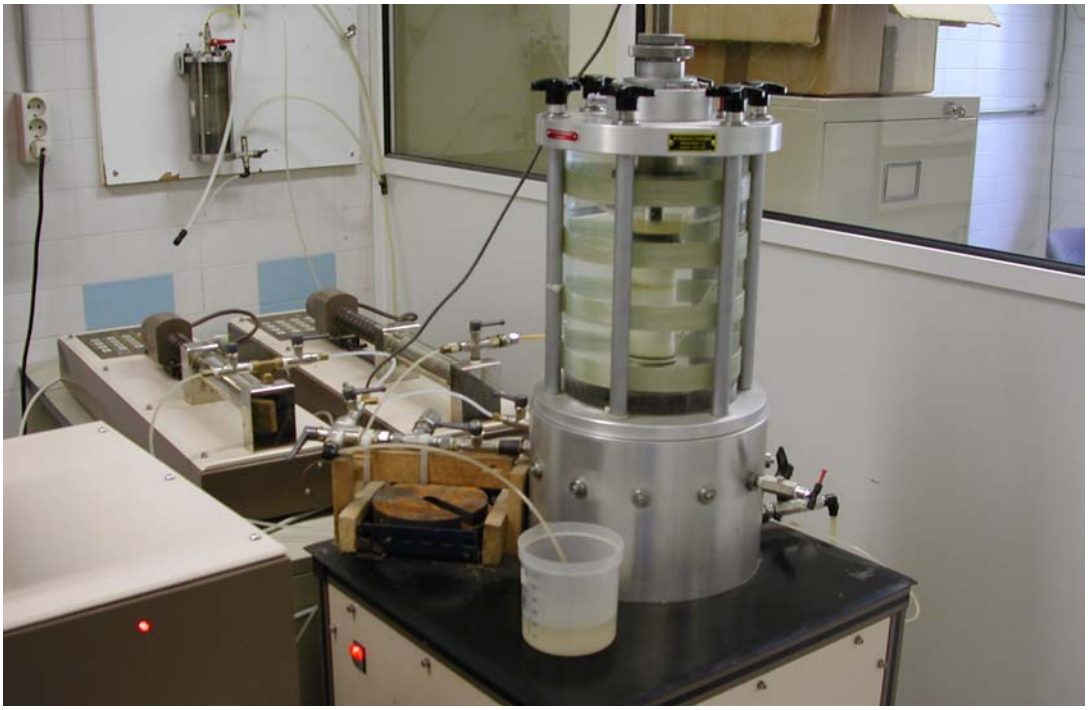
- La presión de cámara y la de cola están impuestas por la inyección de agua que aplican sendos pistones desplazados por motores paso a paso y controlados desde un ordenador. Se permite un control de presiones en el rango de 0 a 2 MPa y un control de volumen de agua de hasta 0.5 mm^3/paso.

- Tanto la presión de cola como la de cámara se miden con transductores incorporados en cada unidad de inyección (la resolución es de 0.1 kPa en el archivo de datos).

- La medida de la presión intersticial (de poros) se realiza con un transductor eléctrico que opera en el rango de 0 a 2 MPa (resolución de 0.1 kPa en el archivo de resultados) situado en contacto con el borde de la probeta opuesto al que se impone la presión de cola.

- Todos los transductores de presión y desplazamiento, así como los pistones que suministran la presión, están conectados a un sistema de adquisición de datos que permite controlar las diferentes etapas del ensayo mediante un ordenador; también se pueden programar múltiples trayectorias tensionales y almacenar en tiempo real las diferentes variables medidas durante el ensayo en vistas a un posterior procesado datos.

En la Figura 1 se muestran unas fotografías de este equipo. Como Anejo se incluye el Manual del Usuario del mismo.



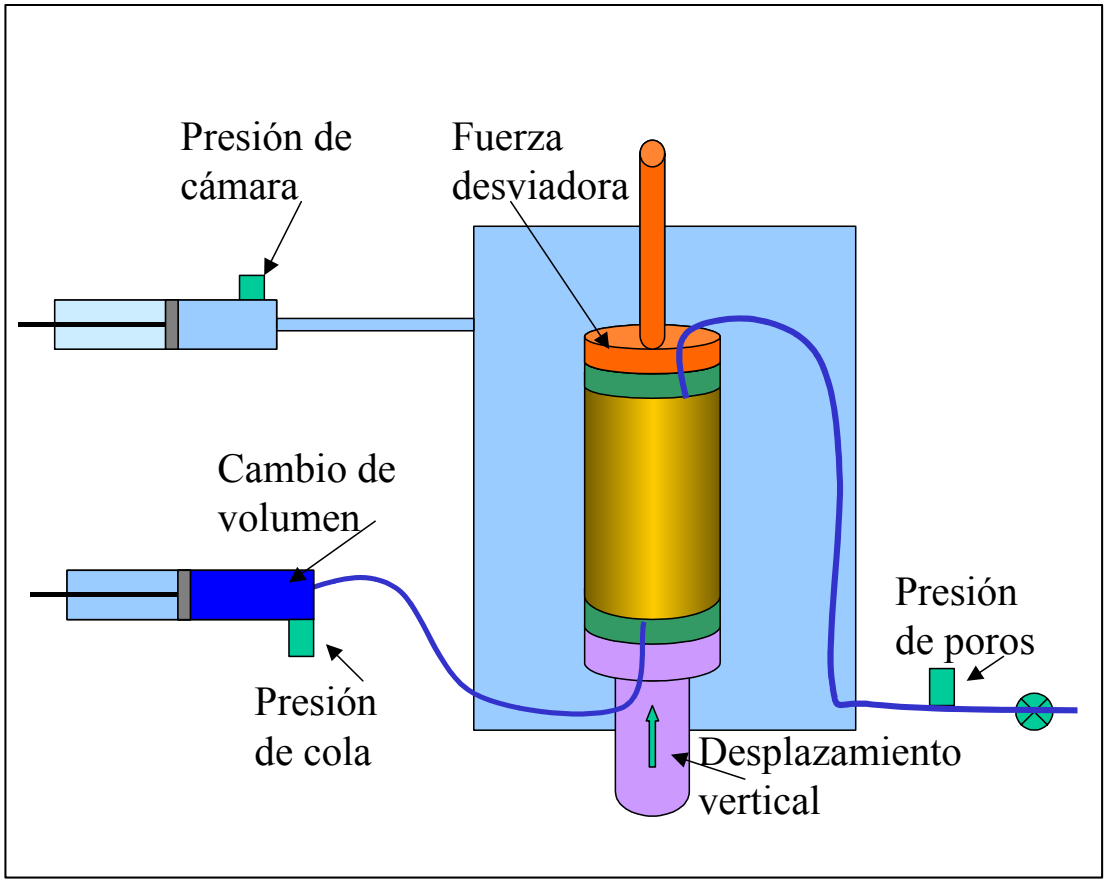


Figura 1.- Vista general del equipo y esquema del equipo para la realización del ensayo triaxial.

3. FASES DEL ENSAYO.

a) Saturación inicial: Se impone un flujo desde el borde inferior de la probeta hacia el borde superior que está en contacto con la atmósfera. La presión de cola impuesta en la base de la probeta será 10 kPa. El confinamiento efectivo durante esta etapa ha sido de unos 5 kPa (presión de confinamiento de 15 kPa). Una vez saturada la probeta se dejará circular agua a través de ella durante un tiempo de unos 15 minutos. Se calculará la permeabilidad de la muestra a partir de la medida del caudal que atraviesa la muestra bajo el gradiente de alturas piezométricas impuesto.

b) Rampa de saturación: Elevación simultánea y lineal con el tiempo de la presión de cola y de la presión de confinamiento. Típicamente se utilizan valores del orden de 300 kPa para la presión de cola final y se mantiene un confinamiento efectivo de 5 kPa (presión de confinamiento final de 305 kPa). La duración de la rampa de aplicación de presión será de unos 20 minutos. Una vez alcanzados estos valores de presión se comprobará que el sistema (muestra+conducciones) no contiene aire evaluando el parámetro B de Skempton. Para ello se aplicará un incremento de presión de cámara de 50 kPa en condiciones no drenadas y se medirá el incremento de presión de poros. Si el valor de B es inferior a 0.92 se incrementará el valor de la presión de cola y de cámara mediante una nueva rampa de aumento de presiones.

c) Consolidación isótropa: La trayectoria se realiza en condiciones drenadas. La velocidad de carga se impone de forma que la presión de poros medida en el borde alejado del drenaje no supere en 10 kPa a la presión de cola impuesta en el extremo opuesto de la probeta. La consolidación se realizará hasta alcanzar una tensión efectiva de 200 kPa. A fin de evaluar el módulo elástico de deformación volumétrica se realizará una descarga cuando se hayan alcanzado 150 kPa de confinamiento efectivo. A fin de controlar las deformaciones verticales, la muestra debe estar siempre en contacto con la célula de carga; para ello debe aplicarse una pequeña carga vertical (tensión desviadora, q = 1 kPa). Los puntos para la trayectoria de consolidación serán los indicados en la Tabla 1.

Tabla 1.- Trayectoria de consolidación isótropa

Punto	P' (kPa)	q (kPa)	tiempo aproximado entre puntos (min)
1	5	1	
2	150	1	18
3	5	1	18
4	200	1	24

d) Rotura drenada: Se aplicará un aumento de la deformación axial a una velocidad de 3 mm/h, si la presión de poros se incrementase más de 10 kPa esta velocidad se reduce automáticamente. La deformación axial máxima será del orden del 20%.

4. FORMATO DEL ARCHIVO DE RESULTADOS Y CALCULO DE VARIABLES INTERMEDIAS

En la Tabla 2 se muestra un archivo de salida típico indicando el significado de cada una de las variables.

Tabla 2.- Formato de los archivos de resultados

DESC	aaaaaaa	*(DESC: Descripción del archivo)*										
FILE	diam2	*(FILE: Nombre del archivo)*										
INITIAL VALUES												
D0	L0	D3										
69.67346098	140.0012992	0	*(D0: Diámetro (mm); L0: altura (mm))*									
RDG	TIME	P7	V7	P8	V8	F0		V9	P6	AX1	AX2	RD1
1	0.7	8.9	5071	-6	0	0.015		180.875	-5.779	0	-0.001	0.001
2	11.2	8.9	5077	-6	0	0.015		182.75	-5.99	-0.001	-0.001	-0.001
3	21.5	9	5087	-5.6	0	0.013		183.625	-5.832	0	-0.001	-0.001
4	31.8	9	5091	-5.7	0	0.014		183.875	-5.832	0.001	0.003	-0.001
.	.	.	.	.	.	.		.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.		.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.		.	.	.	.	.
RDG: Número de la lectura	*TIME: tiempo en minutos.*	*P7: presión de cámara (kPa).*	*V7: volumen (mm3) en el pistón conectado a la cámara. (usualmente no se utiliza).*	*P8: presión de cola (kPa).*	*V8: volumen (mm3) en el pistón conectado a la muestra (indica su cambio de volumen si está saturada).*	*F0: medida (kN) de la célula de carga*		*V9: desplazamiento vertical (micras = 10-3 mm)*	*P6: presión de poros (kPa).*	*AX1: medida del sensor de deformación axial local 1 (no se usa)*	*AX2: medida del sensor de deformación axial local 2 (no se usa)*	*RD1: medida del sensor de deformación radial local (no se usa)*

A partir de estos valores pueden calcularse las variables siguientes:

- Tensión efectiva de confinamiento ($\sigma'_3 = \sigma_3 - u$), u = P6
- Altura de la muestra (H) y deformación axial ($\varepsilon_z = - \Delta H/L_0$))
- Volumen de la muestra (V) y deformación volumétrica ($\varepsilon_v = \varepsilon_p = - \Delta V/V_0$)
- Índice de poros ($e = e_0 - \varepsilon_v (1 + e_0)$)
- Deformación de corte ($\varepsilon_q = \varepsilon_z - (\varepsilon_v)/3$)
- Área de la muestra (A = V/H)
- Desviador (q = F0/A)
- Tensión efectiva vertical ($\sigma'_z = \sigma'_1 = \sigma'_3 + q$)
- $p' = (\sigma'_1 + 2\,\sigma'_3)/3$

Por otra parte, tomando tramos de ensayo suficientemente representativos puede evaluarse el valor de los módulos elásticos y del coeficiente de Poisson:

- $K = \Delta p'/\Delta\varepsilon_v$; $E = \Delta q/\Delta\varepsilon_z$; $G = 1/3\,(\Delta q/\Delta\varepsilon_q)$; $\nu = (E/(2G))-1$

A partir de estos módulos pueden evaluarse las deformaciones elásticas (ε^e) y plásticas (ε^p), en caso de que el suelo haya plastificado:

- $\Delta\varepsilon^e_v = \Delta p'/K$; $\Delta\varepsilon^p_v = \Delta\varepsilon_v - \Delta\varepsilon^e_v$; $\Delta\varepsilon^e_q = \Delta q/(3G)$; $\Delta\varepsilon^p_q = \Delta\varepsilon_q - \Delta\varepsilon^e_q$

5. RESULTADOS

Los resultados del ensayo triaxial deben contener al siguiente información:

a) Un cuadro resumen con las características del ensayo y de las probetas. (La probeta ensayada tiene un diámetro inicial de 38 mm y su altura inicial es de 76 mm. La humedad natural es de 36.4%, su densidad natural de 1.83 g/cm^3 y la densidad de sus partículas sólidas es de 2.70 g/cm^3.)

b) Gráfico con la evolución en el tiempo de la presión intersticial y de confinamiento durante la fase de saturación.

c) Gráfico con la evolución temporal del volumen de agua que entra en la muestra durante la etapa de saturación. Se evaluará el valor de la permeabilidad con las medidas del final de la etapa de saturación.

d) Gráfico con la evolución en el tiempo de la presión intersticial y de confinamiento (total y efectiva) durante la etapa de consolidación isótropa.

e) Durante la etapa de consolidación, gráficos con la evolución temporal y con respecto a los cambios de presión efectiva de confinamiento (p') de:

- Deformación volumétrica (obtenida a partir del agua que sale de la muestra, $\varepsilon_v = - \Delta V/V_0$)
- Deformación de corte (obtenida a partir de la deformación volumétrica y axial, $\varepsilon_q = \varepsilon_z - (\varepsilon_v/3) = - (\Delta H/H_0) + (\Delta V/(3V_0))$
- Índice de poros

Obtención del módulo elástico de deformación volumétrica "K".

f) Curva desviador - deformación axial durante la fase de rotura drenada. Evaluación del módulo elástico "E".

g) Trayectoria tensional en el plano p',q ($p' = (\sigma'_1 + 2\sigma'_3)/3$, $q = \sigma'_1 - \sigma'_3$) durante la fase de consolidación y de carga axial.

h) Curva deformación volumétrica - deformación axial durante la fase de rotura drenada. Comentar la posible dilatancia de la arena.

i) Utilizando los módulos elásticos evaluados para evaluar las deformaciones elásticas, obtener el valor de las deformaciones volumétricas plásticas (ε_v^p) y las deformaciones de corte plásticas (ε_q^p) durante la fase rotura. Graficar estas deformaciones en función del valor del desviador y de la deformación axial (ε_z). Graficar la relación entre los **incrementos** de deformación plástica ($\Delta\varepsilon_q^p / \Delta\varepsilon_q^p$) y la deformación axial y, asimismo, comentar los resultados obtenidos.